

**CONFERENCIA INTERNACIONAL  
" EL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL Y LA  
GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA. ASPECTOS  
MEDIOAMBIENTALES, REUTILIZACIÓN Y  
DESALACIÓN "**

**PLAN DE REUTILIZACIÓN EN LA COMARCA DE  
CAMPO DALIAS ( ALMERÍA )**

*Zaragoza  
13 y 14 de Junio 2.001*

*Por:  
Teresa Cortés  
Jefe del Área de Aguas  
Inima*

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Si el recurso natural máspreciado con que cuenta el hombre es el agua, este hecho cobra una gran relevancia en la provincia de Almería y especialmente en la zona del Campo de Dalías.

La provincia de Almería situada durante años en los niveles más bajos de renta per cápita de las provincias españolas, ha pasado a encontrarse entre las 20 primeras, debido en gran medida al desarrollo intensivo de su agricultura.

Ante la inexistencia de verdaderos cauces fluviales permanentes, las bajas precipitaciones así como el incremento de la demanda tanto urbana como agrícola, la reserva hídrica natural de la zona, basada fundamentalmente en los acuíferos se ha visto mermada tanto en capacidad como en calidad.

Para mantener la línea ascendente de desarrollo en la zona, se hacia necesario adecuar los recursos hídricos a la demanda, sin que esto ocasione su deterioro y/o agotamiento. Esta situación llevó al Gobierno Central y la Junta de Andalucía a crear la infraestructura necesaria con implantación de nuevas tecnologías para reutilización de efluentes, con objeto de resolver el problema del Campo de Dalías.

La reutilización de las aguas depuradas (aguas regeneradas) en el Campo de Dalías se planteó inicialmente como un medio para incrementar los recursos hídricos de la zona, tanto para su reutilización directa (riego agrícola) como para la recarga de sus acuíferos.

Posteriormente los agricultores de la zona manifestaron su deseo de utilizar de forma masiva el agua regenerada para riego, limitando la reinyección a una actuación propiamente testimonial. Situación esta que no difiere sustancialmente con la inicial, ya que si bien se reinyecta menos, también se reduce en la misma medida la sobreexplotación de los acuíferos.

En este trabajo se describen las actuaciones realizadas para el aprovechamiento integral directo de los efluentes depurados. Así como la evolución que dichas actuaciones han experimentado durante su periodo de ejecución, con objeto de implementar las tecnologías de última generación que con experiencia probada están funcionando en diferentes partes del mundo.

## **2.- PROYECTO INICIAL**

### **2.1.- ANTECEDENTES**

#### **2.1.1.- El agua subterránea**

Los núcleos del Poniente Almeriense se abastecen de aguas subterráneas y, en menor medida, del embalse de Beninar, fuentes de suministro normalmente compartidas con las aguas destinadas a riego.

La sobreexplotación de los acuíferos y el avance de la intrusión marina que conlleva, constituye una seria amenaza para el mantenimiento del desarrollo agrícola de la zona.

### ***“PRINCIPALES ACUÍFEROS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA SIERRA DE GÁDOR”***

#### **ACUÍFERO SUPERIOR CENTRAL**

Tipo: Costero, libre y poroso  
Terrenos: Arenas, gravas y areniscas  
Profundidad: Entre 40 y 70 metros  
Salinidad: 1 a 6 gr/l  
Recarga: Infiltración de lluvia  
Uso: Riego y abastecimiento

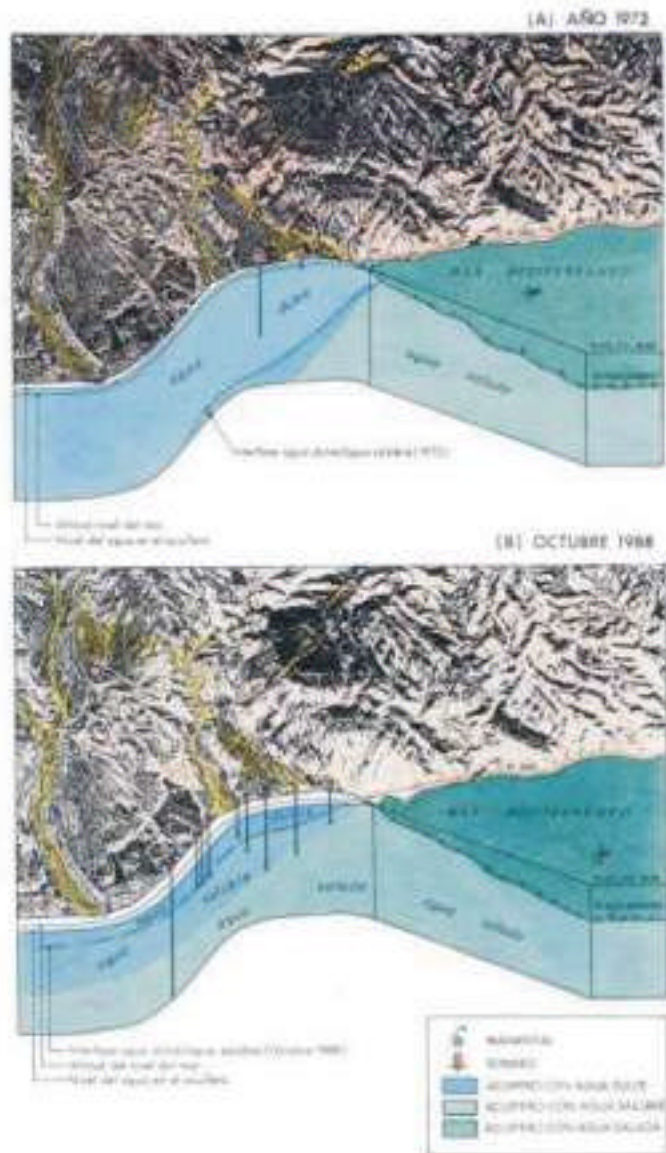
#### **ACUÍFERO INFERIOR OCCIDENTAL**

Tipo: Libre y cautivo, fisurado y poroso  
Terrenos: Calizas y dolomías  
Profundidad: Entre 100 y 1000 metros  
Salinidad: 0,5 a 1 gr/l  
Recarga: Infiltración y acuíferos vecinos  
Uso: Riego y abastecimiento

#### **ACUÍFEROS DEL SECTOR NORESTE**

Tipo: Libre, porosos y en contacto con el mar  
Terrenos: Arenas, gravas, conglomerados y calcarenitas  
Salinidad: Muy variable entre 0,5 y 2,5 gr/l

## 2.1.2.- Evolución de la intrusión marina en la zona de agua dulce

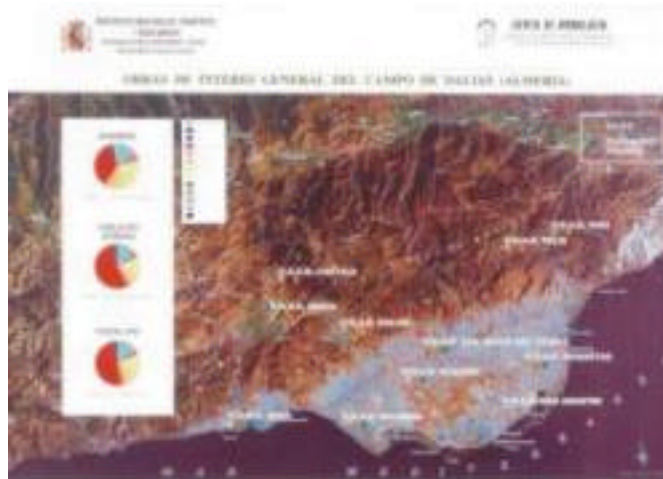


### **2.1.3.- El plan de saneamiento y reutilización**

La preocupación por el deterioro de los acuíferos de la zona, movió al Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, conjuntamente con la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, a acometer las actuaciones contenidas en el Plan, que en síntesis consisten en construir una red básica de colectores para recogida de las aguas residuales y dotar a todos los núcleos de población de la comarca, del sistema más adecuado para la depuración de los efluentes urbanos, así como de los sistemas de tratamientos terciarios avanzados para regeneración de parte del agua depurada, para su posterior reutilización directa (riego agrícola) y para recarga de sus acuíferos.

<b>DATOS PRINCIPALES</b>	
<i>Objetivos:</i>	
◆ Depurar los vertidos urbanos para cumplir las normas de la Unión Europea.	
◆ Reutilizar las aguas residuales regeneradas contribuyendo a rebajar el déficit hídrico.	
<i>Inversión:</i>	5.290.800.000 PTA
<i>Población atendida para el año horizonte:</i>	324.000 habitantes
<i>Volumen de agua depurada:</i>	19,3 Hm <sup>3</sup> /año
<i>Volumen de agua regenerada:</i>	11,4 Hm <sup>3</sup> /año

**2.1.4.- Relación y localización de las depuradoras incluidas en el "Plan de saneamiento", indicando las provistas de tratamientos terciarios avanzados.**



**2.2.- LOS TRATAMIENTOS TERCIARIOS EN EL PROYECTO INICIAL**

**2.2.1.- Depuradoras que incorporan tratamientos terciarios**

En el proyecto inicial se había previsto realizar tratamientos terciarios avanzados en las siguientes depuradoras:

- EDAR del Ejido
- EDAR de Santa Maria del Aguila
- EDAR de Balerma
- EDAR de Roquetas

El agua regenerada a la salida de los tratamientos terciarios se utilizaba para:

- Recarga de acuíferos
- Riego agrícola

**2.2.2.- Salinidades de diseño**

- a) El TDS del agua depurada a la salida de los decantadores secundarios se fijaba en 1.500 mgr/l.
- b) El TDS del permeable a la salida de la osmosis inversa debía ser igual o inferior a 500 mgr/l.

### **2.2.3.- Líneas de tratamiento**

- a) Las aguas procedentes de los decantadores secundarios destinadas a la recarga de los acuíferos, sufrían un tratamiento fisicoquímico con coagulación, descarbonatación, floculación, decantación y filtración sobre lecho de arena, seguido de un sistema de desalación mediante osmosis inversa.
  
- b) Las aguas procedentes de los decantadores secundarios destinadas al riego agrícola se filtraban a presión y a través de un lecho de arena, tras el cual se desinfectaban mediante ozono.

**2.2.4.- Cuadro resumen de las obras con tratamiento terciario (Proyecto inicial)**

	E.D.A.R.			TRATAMIENTO Terciario		
	AÑO 2014		LÍNEA DE TRATAMIENTO	FILTRACIÓN + OZONO m <sup>3</sup> /día	FÍSICO-QUÍMICO + OSMOSIS (BRUTO) m <sup>3</sup> /día	PRODUCCIÓN NETA TOTAL AGUA REGENERADA m <sup>3</sup> /día
	HORIZONTE					
	INVIERNO m <sup>3</sup> /día	INVIERNO m <sup>3</sup> /día				
VERANO m <sup>3</sup> /día	VERANO m <sup>3</sup> /día					
EDAR EL EJIDO	7.827	5.932	FAAP + NDN		2 x 3000 = 6000	4.500
	7.827	5.932				
EDAR DE STA M <sup>a</sup> DEL AGUILA	4.632	3.294	FAAP + NDN		1 x 3000 = 3000	2.250
	4.632	3.294				
EDAR DE BALERMA	1.466	1.121	FAAP + NDN		1 x 1500 = 1500	1.125
	2.492	1.830				
EDAR DE ADRA	5.920	4.483	FAAP + NDN	4.500		4.500
	6.960	5.272				
EDAR DE ROQUETAS	22.225	15.364	FAMC + NDN	4.500	3 x 3000 = 9000	11.250
	38.883	26.887				
<b>TOTAL AGUA REGENERADA</b>						<b>23.625</b>
<b>FANGOS PRODUCIDOS EN TRATAMIENTO Terciario kg/día</b>						<b>10.731</b>
<b>COSTE MEDIO ESTIMADO DEL m<sup>3</sup> DE AGUA REGENERADA Pts/m<sup>3</sup></b>						<b>25</b>

**NOTA:**

- F.A.M.C.: (Fangos activos media carga)  
 F.A.A.P.: (Fangos activos aireación prolongada)  
 N.D.N.: (Nitrificación – desnitrificación)



### **3.- PROYECTO CONSTRUIDO**

#### **3.1.- MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LAS EDAR QUE INCORPORAN TRATAMIENTOS TERCIARIOS**

##### a) EDAR DEL EJIDO

- Se unifican en una sola EDAR los vertidos procedentes de El Ejido y los de la pedanía de Santa María del Aguila
- El proceso de depuración pasa a ser de fangos activos en media carga con nitrificación , desnitrificación y digestión anaerobia de fangos.
- Los caudales de diseño de la nueva depuradora pasan a ser la suma de los caudales de las dos primitivas.

Caudal año horizonte (2014): 12.459 m<sup>3</sup>/h  
Caudal año actual (2000): 9.926 m<sup>3</sup>/h

##### b) EDAR DE ROQUETAS

- Se incrementan los caudales de diseño de la EDAR debido a la incorporación del vertido de San Agustín.

#### **3.2.-OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TERCIARIOS**

El proyecto inicial contemplaba el aprovechamiento de la mayor parte del agua regenerada procedente de los tratamientos terciarios para la recarga de los acuíferos y una pequeña parte para el riego agrícola.

Sin embargo los agricultores de la zona desean utilizar de forma masiva el agua regenerada con una salinidad inferior a los 800 ppm para riego, limitando la reinyección a una actuación puramente testimonial.

A la situación anterior se le añade la preocupación creada a todos los niveles al utilizar aguas regeneradas para el riego de cultivos intensivos en invernaderos, destinados casi en su totalidad a la exportación, con las graves consecuencias que acarrearía para la economía de la región cualquier problema de índole sanitario que pudiese surgir en los mercados exteriores achacable al tipo de riego utilizado.

Adicionalmente en el tiempo transcurrido desde la realización del proyecto inicial ha alcanzado la mayoría de edad una técnica novedosa como la microfiltración.

La instalación de microfiltración en los tratamientos terciarios en sustitución de los procesos físicoquímicos presenta innumerables ventajas, entre las que se podría citar:

- ◆ Asegura la desinfección del agua a la salida de la microfiltración ya que las bacterias no pueden atravesar los poros de las membranas. Igual situación se presenta con los huevos de nemátodos por lo que el riesgo de que aparezcan problemas sanitarios ligados al riego con aguas regeneradas con este proceso es mínimo.
- ◆ El agua regenerada está exenta de materia en suspensión y sustancias coloidales siendo prácticamente nulo el riesgo de atascamiento de los modernos sistemas de riego.
- ◆ Simplifica enormemente los tratamientos físicoquímicos previstos en los tratamientos terciarios.
- ◆ Asegura una calidad constante en el agua regenerada con independencia de la calidad del agua procedente de los decantadores secundarios.
- ◆ Elimina por completo la producción de fangos en los tratamientos terciarios.
- ◆ Reduce el costo del m<sup>3</sup> del agua regenerada lo que sin duda tiene un efecto positivo respecto a su aprovechamiento por parte de la Mancomunidad de Regantes.
- ◆ La utilización de agua microfiltrada para alimentar las unidades de ósmosis inversa reduce considerablemente el ensuciamiento de las membranas, mejorando su vida útil lo que redonda en los costos de explotación.
- ◆ En el supuesto de no ser necesario reducir la salinidad del agua depurada, puede utilizarse el agua microfiltrada directamente para riego, incrementándose el volumen total de agua regenerada.

### **3.3.-CRITERIOS DE DISEÑO**

Se asume que prácticamente la totalidad del agua regenerada, se destinará a riego agrícola y que se efectuará, a nivel de experiencia, una reinyección para recargar un acuífero en la depuradora que reúna las condiciones más idóneas para efectuar dicha prueba.

Efectuado un muestreo en los colectores existentes se considera excesiva la salinidad adoptada en el proyecto inicial concluyéndose que una salinidad del orden de los 1.000 mg/l a la salida de los tratamientos secundarios se ajusta más a la realidad.

Igualmente, a la vista de la salinidad real de agua de riego que se está utilizando en la actualidad, se establece una salinidad en el agua regenerada del orden de los 600 – 800 mg/l y en el entorno de los 100 mg/l la de salida de la ósmosis inversa.

Los tratamientos terciarios se diseñan para caudales prácticamente iguales a los de la correspondiente EDAR en invierno y en el año 2000.

Se decide utilizar en los tratamientos terciarios de todas las Depuradoras el mismo esquema de tratamiento.

### **3.4.-TRATAMIENTOS Terciarios CONSTRUIDOS**

#### **3.4.1.- Líneas de tratamiento**

- ◆ Almacenamiento durante 6 horas de toda el agua que se va a regenerar con objeto de:
  - Laminar las fluctuaciones de caudal que llega a la EDAR haciendo trabajar a los tratamientos terciarios con un caudal constante.
  - Homogeneizar el agua que llega al tratamiento terciario.
- ◆ Tamizado a 500  $\mu$  de la totalidad del agua a regenerar para proteger las membranas de microfiltración.

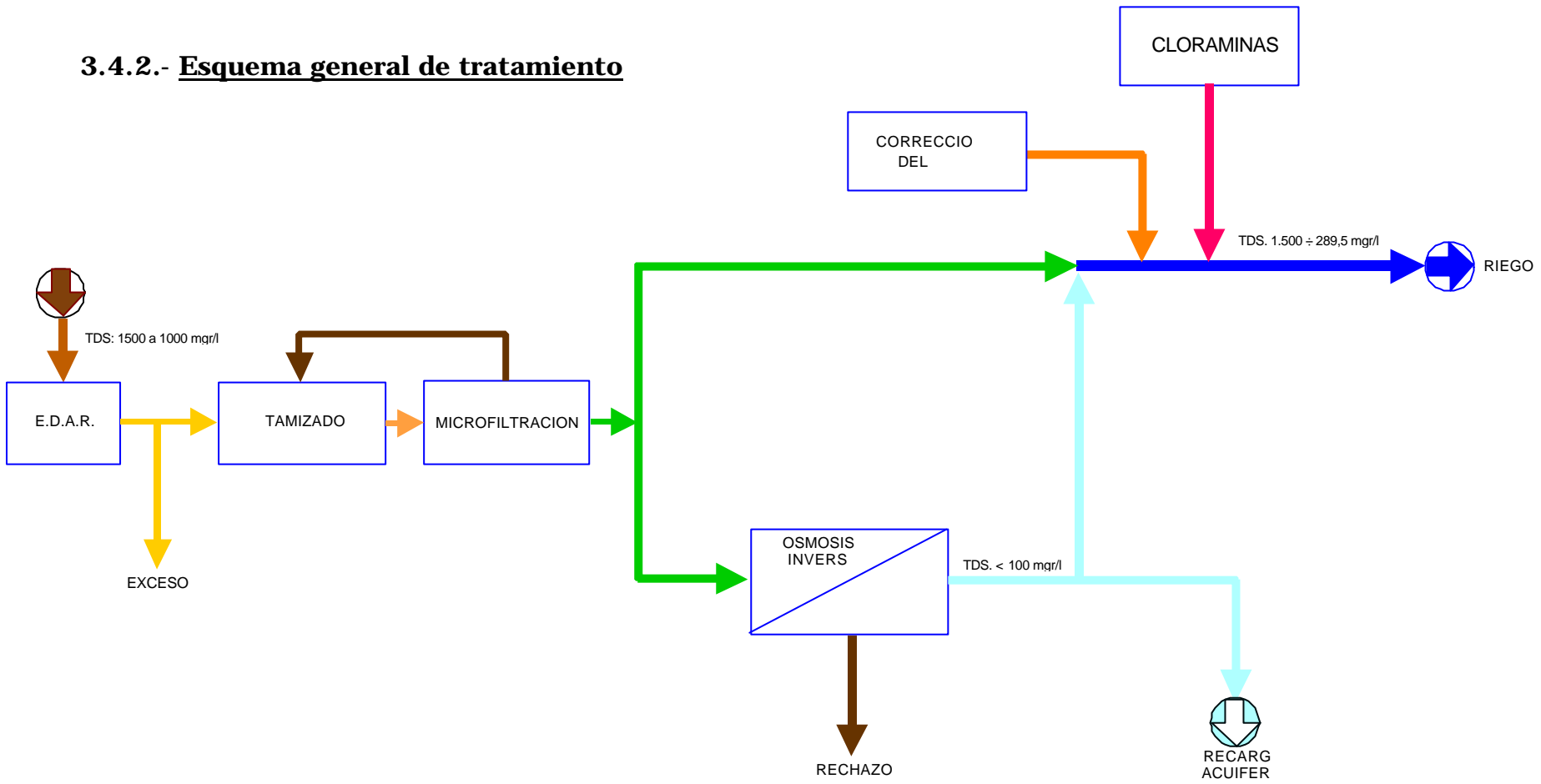
El efluente de los lavados de los microtamices se devuelve de nuevo a cabeza de la EDAR.

- ◆ Microfiltrado con una selectividad del orden de las 0,2 a 0,1 micras del 100% del agua a regenerar.

El efluente de las limpiezas de las membranas de microfiltración se devuelve a cabeza de la EDAR optimizando la conversión global del sistema.

- ◆ El agua microfiltrada se divide en dos corrientes, tal como se recoge en el esquema adjunto.
- ◆ Una de las corrientes de agua microfiltrada se trata mediante ósmosis inversa. El agua de rechazo de las membranas se envía al mar por el colector de by-pass de la EDAR.
- ◆ A la otra corriente, tras su mezcla con el permeado de la ósmosis inversa se le corrige el SAR y se desinfecta mediante la adición de cloraminas.

### 3.4.2.- Esquema general de tratamiento



### 3.5.- CUADRO RESUMEN DE LAS OBRAS CONSTRUIDAS CON TRATAMIENTO TERCIARIO

EDAR. CON TRATAMIENTO TERCIARIO	EDAR		LÍNEA TRATAMIENTO	TRATAMIENTO TERCIARIO						
	HORIZONTE AÑO 2014	ACTUAL AÑO 2000		MICROFILTRACIÓN			ÓSOSIS INVERSA			
	INVIERNO m <sup>3</sup> / DIA	INVIERNO m <sup>3</sup> / DIA		SISTEMA	Nº DE MÓDULOS	CAPACIDAD BRUTA/NETA m <sup>3</sup> / DIA	CAPACIDAD BRUTA m <sup>3</sup> / DIA	Nº DE LÍNEAS	AGUA TOTAL REGENERADA	CONVERSIÓN GLOBAL
	VERANO m <sup>3</sup> / DIA	VERANO m <sup>3</sup> / DIA		FABRICANTE					NETO TOTAL m <sup>3</sup> / DÍA	
EDAR DEL EJIDO	12.459	9.926	FAMC + NDN	Flujo tangencial	3	7.000	3.000	1	6.250	89,3%
	12.459	9.926		PALL						
EDAR DE ADRA	5.920	4.483	FAAP + NDN	Flujo tangencial	2	5.000	5.000	1	4.250	85%
	6.960	5.272		PALL						
EDAR DE ROQUETAS	22.800	15.800	FAMC + NDN	Flujo perpendicular	7	13.500	6.000	2	12.000	88,9%
	39.463	27.328		MENCOR						
<b>TOTAL AGUA REGENERADA</b>									22.500	
<b>COSTE MEDIO DEL m<sup>3</sup> DE AGUA REGENERADA Pts/m<sup>3</sup></b>									<b>18</b>	

**NOTA:**

F.A.M.C.: (Fangos activos media carga)

F.A.A.P.: (Fangos activos aireación prolongada)

N.D.N.: (Nitrificación – desnitrificación)

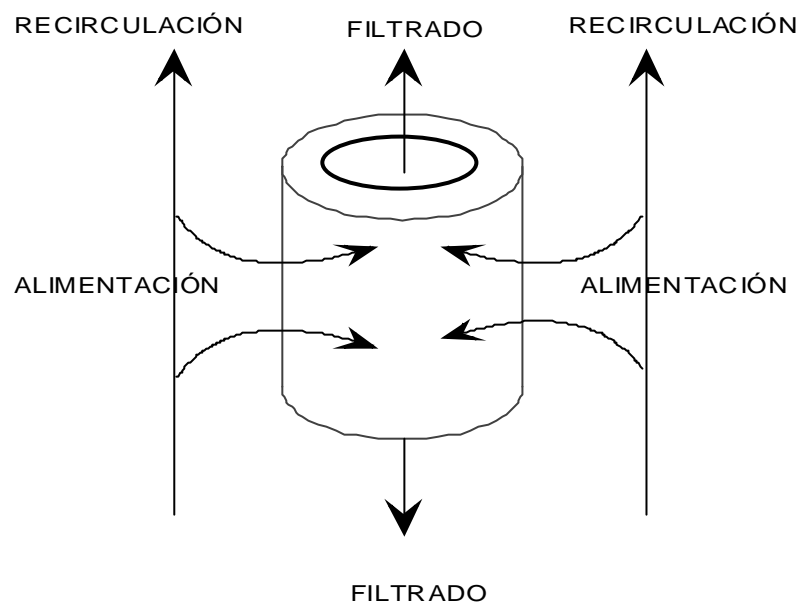


### 3.6.-SISTEMAS DE MICROFILTRACIÓN INSTALADOS

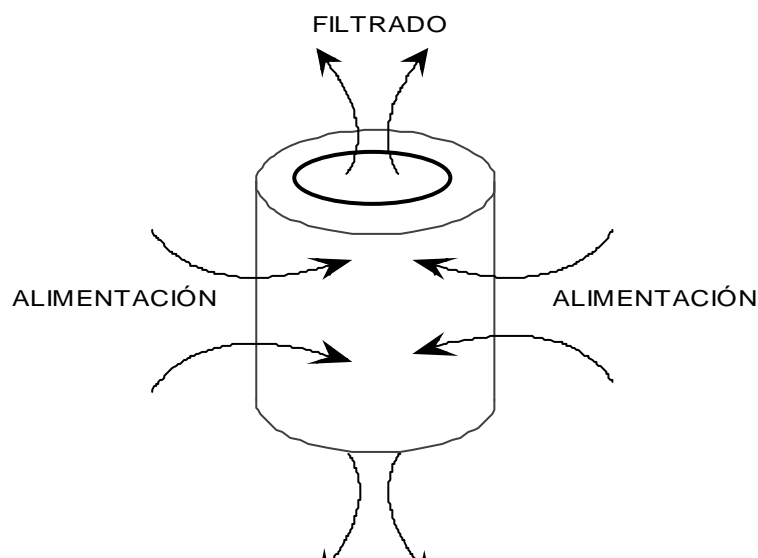
Una vez decidida la instalación de sistemas de microfiltración en los tratamientos terciarios, quedaba por definir los tipos a instalar.

Analizados los sistemas existentes en el mercado y con experiencia probada (al menos con una planta de capacidad similar a las requeridas) se optó por las siguientes instalaciones:

**EDAR DE ROQUETAS:** Sistema de microfiltración con membranas de fibra hueca a  $0,2 \mu$ , de flujo perpendicular (DEAD END) y retrolavados con aire, de la firma MEMCOR.



**EDAR DEL EJIDO Y DE ADRA:** Sistema de microfiltración con membranas de fibra hueca a  $0,1 \mu$ , de flujo tangencial con recirculación y retrolavados con agua microfiltrada y clorada



### 3.6.1.- Datos técnicos

<b>FABRICANTE:</b>	<b>MENCOR</b>	<b>PALL</b>	
<b>E.D.A.R.:</b>	<b>ROQUETAS</b>	<b>EJIDO</b>	<b>ADRA</b>
Caudal neto diseño agua microfiltrada (m <sup>3</sup> /día)	13.500	7.000	5.000
Proceso	Microfiltración	Microfiltración	
Modo de operación	Flujo perpendicular exterior interior sin recirculación	Flujo tangencial exterior interior con recirculación	
Tipo de membranas	Fibra hueca	Fibra hueca	
Material de membranas	PP	PVDF	
Capacidad de retención µm	0,2 (99,9%)	0,1 (99,9%)	
Superficie membrana por módulo m <sup>2</sup>	15/34 (INT/EXT)	50 (EXTERIOR)	
Ref. módulo	M10	USV-6203	
Pretratamiento requerido	Filtración 500 µm	Filtración 400 µm	
Tolerancia al cloro	NO	SI	
Calidad agua tratada SDI/NTU	3 / 0,3	1 / 0,1	
Vida garantizada módulos	5	5	
Sistema de limpieza	Aire y agua cada +18' CIP cáustico cada + 7 días CIP ácido +14 días	Agua+NaClO en contra corriente +15' Aire + agua +30' CIP cáustico y ácido + 1 mes	
Tiempo total medio de limpieza por tren h/día	5	2,5	
Procedencia agua de limpieza	Tamizada 500 µ	Microfiltrada	
Int. aire de limpieza	Interior/exterior	Exterior	
Conversión nominal %	80	90	
Conversión práctica	100	100	
Número de trenes	7	3	2
Número de módulos por tren	84	50	50
Número total de módulos	588	150	100
Superficie total de membrana instalada m <sup>2</sup>	8.820/19.992 (INT/EXT)	7.500	5.000
Caudal bruto de alimentación m <sup>3</sup> /h	715	365	260
Caudal instantáneo de filtrado m <sup>3</sup> /h	715	330	235
Velocidad de filtración	81 / 36	44	47
Caudal medio neto de filtrado m <sup>3</sup> /h	562,5	291,6	208
Caudal de recirculación módulos m <sup>3</sup> /h	0	33,2	23
Caudal de recirculación EDAR m <sup>3</sup> /h	131	30,4	22
Rechazo	0	0	
Presión transmembrana máxima bar	1,8	2,2	
Presión bombas alimentación bar	2,4	3	
Presión aire limpieza bar	8	3	
Sistema de pretratamiento	Tamizado 500 µm	Tamizado 500 µm	



### 3.6.2.- Comparativo sistemas de microfiltración

<b>MEMCOR</b>	<b>PALL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Filtración frontal sin necesidad de recirculación.</li> <li>◆ Retrolavado con aire, lo cual optimiza la limpieza mecánica de las membranas, siendo el sistema de limpieza idóneo para sistemas con filtración frontal.</li> <li>◆ Membranas de 0,2 <math>\mu</math>, lo cual permite efectuar retrolavados con aire, muy eficientes y sin rotura de la burbuja de aire.</li> <li>◆ Pretratamiento sencillo del agua de alimentación mediante tamizado a 500 <math>\mu</math>.</li> <li>◆ Limpieza con agua bruta.</li> <li>◆ Reducida tolerancia al cloro.</li> <li>◆ Limpiezas químicas frecuentes.</li> <li>◆ Alta calidad del agua microfiltrada tanto para alimentación a O.I. como para uso directo en riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Filtración tangencial con recirculación.</li> <li>◆ Retrolavado con agua microfiltrada clorada</li> <li>◆ Pretratamiento sencillo del agua de alimentación, mediante tamizado a 500 – 400 <math>\mu</math>.</li> <li>◆ Membranas de 0,1 <math>\mu</math>, lo cual optimiza la calidad del agua tratada tanto en su "SDI" como en la retención de patógenos.</li> <li>◆ No necesita bombas de retrolavado, siempre que el número de trenes instalados sea 2.</li> <li>◆ Menor frecuencia de limpiezas químicas.</li> <li>◆ Muy alta calidad del agua microfiltrada, tanto para alimentación por O.I. como para uso directo en riego.</li> <li>◆ Mayor consumo de hipoclorito sódico.</li> </ul>

### 3.7.- SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

El sistema de ósmosis inversa está modulado en líneas de 3.000 m<sup>3</sup>/día de agua bruta iguales en todas las EDAR.

<b><i>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES DE LA LÍNEA DE 3.000 m<sup>3</sup>/día.</i></b>	
– Caudal de agua bruta:	3.000 m <sup>3</sup> /día
– Caudal de permeado:	2.250 m <sup>3</sup> /día
– Conversión:	75%
– Presión alimentación membranas:	12,3 bar
– Número de etapas:	2
– Número total de tubos de presión:	30
– Número de membranas por tubo:	6
– Número total de membranas:	180
– Flujo membranas máximo:	9,2 gfd
– Salinidad diseño agua bruta:	1.500 mgr/l
– Salinidad permeado:	100 mgr/l
– Tipo de membranas:	Espiral poliamida
– Bomba de alta presión:	Provista de variador
– Pretratamiento agua microfiltrada:	Microfiltros a 5 µ
– Reactivos a dosificar:	<ul style="list-style-type: none"><li>– Hipoclorito</li><li>– Acido Sulfúrico</li><li>– Bisulfito Sódico</li><li>– Antiincrustante</li></ul>

#### **4.- CONCLUSIÓN**

**Con las obras ejecutadas se ha dotado a la zona del Campo de Dalías de un recurso hídrico adicional de 8,2 a 9,3 Hm<sup>3</sup>/año, para riego agrícola de absoluta seguridad tanto en calidad como en suministro.**